

viaje fantástico al microcosmo celular

JORGE A. MERCURI •

ORGANIZACION FUNCIONAL DEL CUERPO HUMANO

HAGA el lector una lista de los órganos y aparatos de su cuerpo. Los conocimientos de biología y fisiología que integran su cultura general son suficientes para realizarla.

1. *Aparato respiratorio:* Introduce el oxígeno y elimina anhídrido carbónico del organismo.
2. *Aparato digestivo:* Introduce, digiere y absorbe los alimentos.
3. *Aparato circulatorio:* Constituido por el corazón y los vasos sanguíneos. Transporta por la sangre a todos los órganos, el oxígeno y los alimentos y al aparato urinario y respiratorio los desechos procedentes de los tejidos.
4. *Aparato urinario:* Toma de la sangre los restos de los alimentos después que se ha extraído su energía.

5. *Sistemas nervioso y endócrino:* Coordinan e integran las funciones de los otros órganos o tejidos.
6. *Aparato reproductor:* Perpetúa la especie.
7. *Organos de los sentidos:* Nos permite ver, oír, gustar, oler y sentir.
8. *Aparato locomotor:* Este sistema musculoesquelético permite la locomoción.

Evidentemente hay aquí una diversidad de órganos que tiene muy poco en común a su actividad y aspecto. Pero trabajan relacionados entre sí, teniendo en común todos el estar formados por células.

CELULAS COMO UNIDADES VIVAS

Por lo tanto la unidad viva básica del cuerpo es la célula. Cada órgano en realidad es un conjunto de células reunidas

por estructuras intercelulares de sostén. Cada tipo celular nace adaptado para llevar a cabo una función determinada. Ejemplo: Los glóbulos rojos de los cuales el cuerpo contiene unos veinticinco billones, transportan el oxígeno desde el pulmón a los tejidos del cuerpo. Existen aproximadamente otros setenta y cinco billones de células en total, de manera que nuestro organismo contiene aproximadamente en total cien billones de células. Es la "magia" de estas células lo que hace posible el cuerpo humano.

Con los datos suministrados por los más modernos medios de investigación la célula nos aparece hoy como un organismo sumamente complejo, una verdadera ciudad en constante movimiento.

Para un viaje imaginario por el diminuto reino molecular, visitando las arquitecturas de esta microscópica ciudad, hemos elegido un tipo común de célula humana (su diámetro es de 40 micrones aproximadamente).

Esta célula está constituida por una sustancia llamada materia viva o *protoplasma*. Al llegar a esta ciudad nos encontramos con una muralla: la *membrana celular*. Esta pone límites y encierra al citoplasma fundamental que es el "terreno" sobre el cual la ciudad celular construye sus edificios. La membrana plasmática, mientras abre sus puertas a las sustancias nutritivas, defiende a la célula de los agentes perjudiciales.

Una extensa red de calles, el sistema *retículo endoplásmico*, asegura la circulación rápida a todas las partes de las células. En ciertos lugares se transforma en "estacionamiento" de sustancias, almacenándolas temporalmente para luego llevarlas nuevamente a la circulación. Este sistema de conducción no es siempre

de tipo liso, se transforma en distintos sitios en un sistema de tipo rugoso.

Por la periferia de la ciudad se encuentran talleres llamados lisosomas, destinados a demoler las sustancias, "quemarlas" y transformarlas.

Distribuidas por toda la ciudad celular existen las *mitocondrias*, verdaderas "usinas" productoras de energía.

En las zonas céntricas de las células controlan el orden "juntas directivas" que presiden a la formación de dos distintas unidades celulares cuando las células se dividen.

En lo más céntrico de la ciudad existe el gobierno central: el *núcleo*; éste ordena, dicta leyes a sus "dependientes", el pueblo celular. El núcleo reúne, impresa en los *cromosomas*, todas las informaciones necesarias celulares, y una "estafeta", el RNA (ácido ribonucleico), encargado de llevar a las estructuras citoplasmáticas efectoras, las informaciones transmitidas por el mismo.

MEMBRANA CELULAR

La célula posee una *muralla* que la separa del mundo que la rodea.

Es una estructura delicadísima, cuyo espesor es de aproximadamente 0,01 micrón. Es, por lo tanto, invisible al microscopio óptico, pero el electrónico ha confirmado su existencia en forma universal.

La membrana constituye un importante dispositivo de seguridad y un sistema que interviene en la regulación de las relaciones medio ambiente-célula.

Tiene una composición lipoproteica (grasa más proteínas). Las moléculas de proteínas son largas y se orientan paralelamente a la superficie celular, en dos

capas, una contacta con el medio ambiente y otra con el contenido celular.

Las moléculas proteicas pueden plegarse o desplegarse y permiten así a la membrana movimientos de extensión o acortamiento. Estos movimientos influyen en la entrada o salida de compuestos químicos y en movimientos celulares.

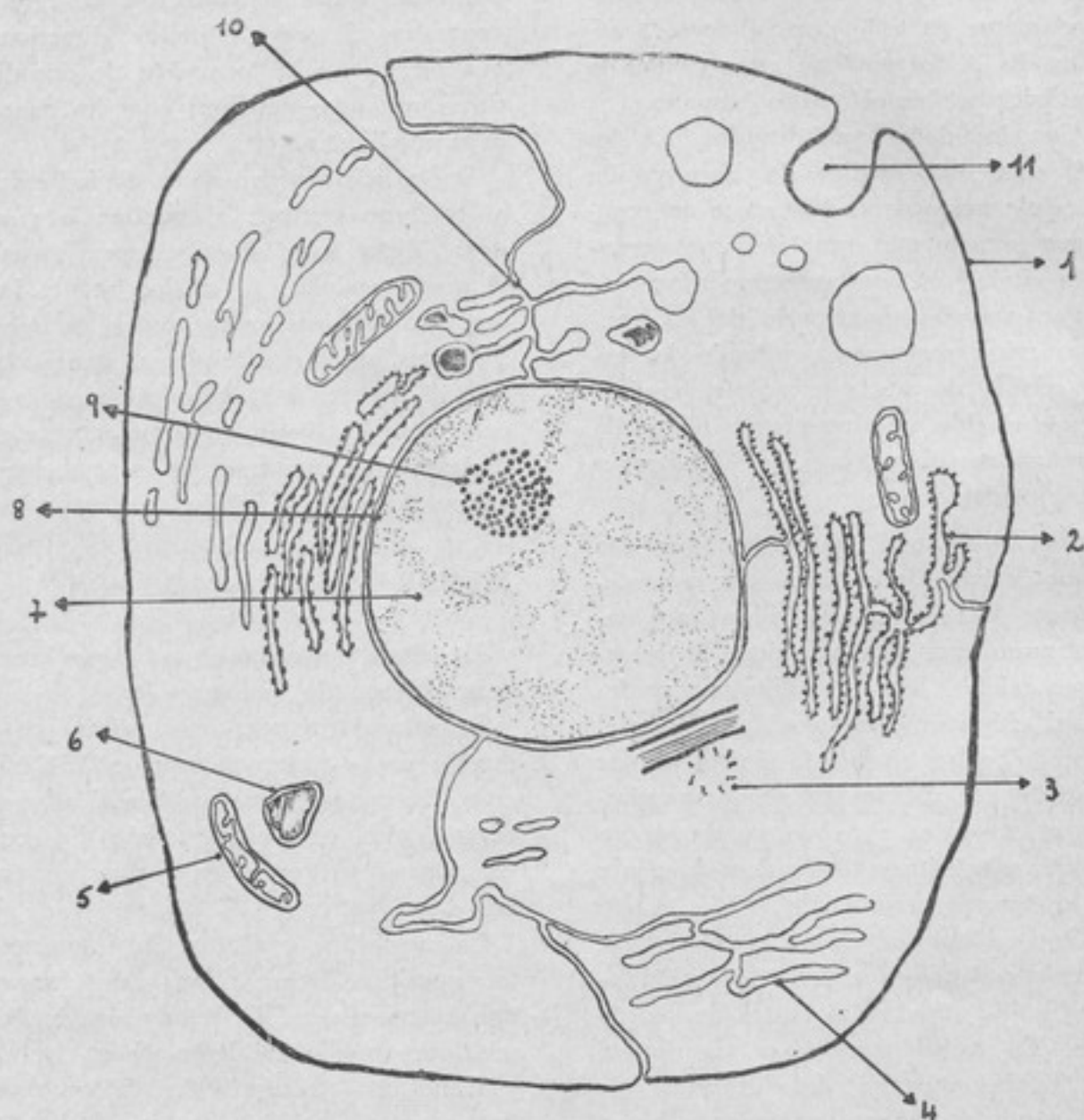
Las moléculas de lípidos forman tam-

bién dos hileras orientadas perpendicularmente a la capa proteica.

Estas dos capas se ubican entre las capas proteicas.

El pasaje de sustancias a través de la membrana plasmática puede producirse por transporte pasivo o activo.

Decimos que se realiza en forma pasiva cuando se hace por diferencia o "gra-



1. Membrana Celular - 2. Reticulo endoplásmico Rugoso - 3. Centro Celular - 4. Reticulo endoplásmico liso - 5. Mitocondria - 6. Lisosoma - 7. Núcleo - 8. Membrana Nuclear - 9. Nucleolo - 10. Aparato de Golgi - 11. Vacuola de Pinocitosis.

diente" de concentraciones, ambos lados de la membrana; por diferencias de potencial, etc.

Transporte activo es cuando se hace el pasaje en contra de gradientes de presión, etc. La célula, por un trabajo especial como de bombeo, absorbe o elimina selectivamente las sustancias que necesita.

En este trabajo se gasta un 30 % de la energía total.

La célula puede servirse de otros mecanismos, además de los descritos, con el fin de proveerse de materiales útiles para su metabolismo.

Puede englobar partículas sólidas relativamente voluminosas haciéndolas adherir a la cara externa de la membrana y envolviéndola luego con su mismo cuerpo. Se habla entonces de fagocitosis (comer celular). Un mecanismo análogo, llamado pinocitosis (beber celular) parece tener vital importancia en la alimentación de la célula. La membrana se hunde formando una cavidad en la que engloba una gota líquida. El material es arrastrado por el mismo movimiento de la membrana. La cavidad cierra detrás de la sustancia englobada formando así una vesícula intracelular que contiene la sustancia, que es absorbida luego por el citoplasma. La célula puede expulsar sustancias por un mecanismo opuesto a la pinocitosis, llamado emecitosis (vómito celular).

CITOPLASMA FUNDAMENTAL

Ya pasamos por la membrana. Una de sus características estructurales es el elevadísimo grado de asociación entre las moléculas que la constituyen. Estas están enlazadas concertadamente en larguísimas

cadena, empeñadas a su vez en proporcionar aquella continuidad arquitectónica que confiere a la membrana sus propiedades de "barrera".

Lo opuesto, en cierto sentido, puede decirse para el *citoplasma fundamental* o *hialoplasma*, en el cual la organización molecular presenta tendencias asociativas más bien débiles. Este citoplasma constituye el "terreno" sobre el cual la ciudad celular construye sus edificios. Un conjunto de material en el cual se insertan las partes más diferenciadas. Y es justamente en este terreno donde se agrupan las principales características mecánicas de la célula: elasticidad, contractilidad, cohesión, rigidez y movimientos intracelulares. Por lo tanto, la función mecánica es de primer plano en el hialoplasma. No hay que olvidar, sin embargo, que presenta además innumerables aspectos de naturaleza metabólica extremadamente importantes. Actualmente el estudio de las características físico-químicas y la organización molecular íntima no está aclarada. Con los enormes aumentos y poder resolutivo del microscopio electrónico no se manifiestan sus secretos.

En el citoplasma existen proteínas, llamadas proteínas estructurales, que pueden cambiar su organización del estadio "globular" al "filamentoso" y viceversa, y que, además, pueden formar una red, cuyos "nudos" estarían constituidos por enlaces de hidrógeno, o por fuerzas de naturaleza electrostática.

La forma filamentosa del armazón proteico da una mayor tenacidad a los enlaces entre los distintos sectores de la red, y un más marcado estado de asociación de las cadenas moleculares, confiriendo así al hialoplasma una consistencia

más densa y por consiguiente una más rígida manutención de las relaciones estructurales citoplasmáticas.

RETICULO ENDOPLASMÁTICO

La periferia de la ciudad celular ha quedado ya atrás; la tercera etapa de nuestro viaje son las distintas regiones centrales de la célula.

Es aquí donde el sistema de comunicación, llamado retículo endoplasmático liso (R.E.L.) resulta de ordinario más abundante.

Son invaginaciones de la membrana al interior de la célula que forman *conductillos* que se ramifican y anastomosan formando una red en el interior de la célula que comunica por varios lugares con la superficie externa y con una gran cavidad que rodea al núcleo llamada perinuclear.

Esta membrana invaginada, que forma el R.E.L., tiene las mismas características morfológicas, químicas y funcionales de la membrana celular ya descrita y de la cual deriva; además se piensa que la membrana nuclear guarda estrecha relación con este retículo y con la membrana plasmática.

La célula soluciona con este sistema, en forma muy eficaz, todos los "problemas de tránsito" en su compleja ciudad.

El retículo parece que puede, además, juntar en sus cavidades material sintetizado en diferentes zonas celulares y enviarlos a otras partes de la célula o al exterior.

Su membrana representaría, además, en el ámbito del citoplasma, una vasta superficie metabólica muy activa, en virtud de la presencia de enzimas.

En ciertas células especializadas, como las del corazón, el R.E.L. conduce impulsos eléctricos a toda la célula.

Sumergidos en el citoplasma fundamental y por lo general en contacto con la cara interna de la membrana del retículo endoplasmático, se encuentran los *ribosomas*. Son los establecimientos industriales de la organización celular, los *talleres* encargados de la producción de las sustancias que más tienen que ver con la "construcción" y renovación de los tejidos vivos: las *proteínas*.

El retículo endoplasmático está formado, aquí también, por invaginaciones de la membrana que forman cavidades aplanadas llamadas *cisternas* que se superponen como una pila de platos o de discos. A este sector del R.E. se lo llama retículo endoplasmático *rugoso* (R.E.R) o *ergastoplasma*.

Unido con el R.E. existe en el citoplasma otro sistema cavitario: el *aparato de Golgi*. Es también una invaginación de la membrana celular que forman *vesículas* o *sáculos* irregulares reunidos en grupos.

El verdadero significado del aparato de Golgi no se conoce actualmente. Sin embargo, el hecho de que el aparato alcance el máximo desarrollo cuando la célula hállase en fase de intensa actividad, y tienda a la involución y a la desaparición en la célula vieja, hace pensar que se trate de un sistema íntimamente ligado a los procesos vitales de la célula.

En algunas células existe una estrecha relación entre estas vesículas y la actividad secretoria, en tales casos el aparato de Golgi, tendría la función de laboratorio de almacenamiento de los productos químicos elaborados, completando su maduración los productos llegados a él.

LISOSOMAS

Para completar el ciclo de sus actividades vitales, la célula debe contar también con una organización capaz de demoler las sustancias alimenticias, que de otro modo no se podrían utilizar. Estos "establecimientos de demolición" son los *lisosomas*, que son formaciones esferoides de alrededor de 0,5 micrón de diámetro. Los lisosomas están constituidos esencialmente por una membrana que contiene enzimas capaces de demoler todas las sustancias orgánicas complicadas en el metabolismo celular. Estas sustancias proteolíticas son sumamente activas, en caso de liberarse son capaces de digerir a la propia célula. Su aspecto puede sufrir cambios importantes, probablemente en relación con las diversas situaciones funcionales de la célula.

MITOCONDRIAS

Para la célula, lo mismo que para las verdaderas ciudades, existe un problema fundamental que condiciona toda su actividad: el de la producción de energía. A este problema tenemos que dedicar otra jornada de nuestro viaje; sumergidas en el citoplasma fundamental, teniendo forma de pequeñas esferas o bastoncitos, que pueden medir hasta 7 micrones de largo y 1 micrón de diámetro, tenemos las *mitocondrias* centrales productoras de energía, que alimentan todas las actividades de la célula, es decir la vida.

Examinemos su estructura que el microscopio electrónico nos muestra: tiene una doble membrana de composición lipoproteica, semejante a la membrana celular. Envuelve a cada mitocondria por separado. La membrana externa lisa es

bastante elástica, se dilata y contrae con facilidad. La membrana interna llena de pliegues, para producir una gran área de superficie interna, llamadas *crestas*. Entre las dos membranas queda un espacio llamado intermembranoso y por dentro de la membrana interna queda otra cavidad ocupada por una sustancia gelatinosa llamada *matriz* mitocondrial.

Aderidos a la superficie de estas membranas existen partículas elementales o partículas transportadoras de electrones (ETP).

La ciudad celular necesita constantemente nueva energía; sus centrales abastecedoras son, pues, numerosas: millares en cada célula. Son móviles, pudiendo así acudir donde la demanda de energía es mayor, capaces de adaptarse con notable elasticidad a los cambios físicoquímicos del ambiente que las rodea y en posición de adecuarse por número y eficiencia a los pedidos de energía de la célula. Las mitocondrias constituyen un sistema mucho más perfeccionado que los creados por el hombre. Su rendimiento se mide extraordinariamente en un 60 por ciento, mientras es raro que el hombre consiga convertir en energía útil, mecánica o eléctrica, más de una tercera parte del calor producido por una combustión.

En cierto sentido, las mitocondrias funcionan como los "reactores de potencia" de las centrales atómicas; esto es, se sirven de una reacción en cadena. La reacción se engendra de un "combustible" que, para la célula, no es el uranio, sino la *glucosa*; o mejor dicho, los productos de su degradación. Del "combustible", llamado sustrato, se engendra un electrón que se combina con el oxígeno, que funciona como "aceptor" de electrones.

Es justamente esta traslación electrónica, del sustrato al aceptor, que libera la energía necesaria a los procesos vitales. Pero, si la traslación se produjera directamente, sin ninguna etapa intermedia, toda la energía disponible se liberaría de un golpe, dando lugar a algo parecido a una explosión, con daño gravísimo para el organismo.

El transporte electrónico se efectúa, pues, por etapas, constituidas por otras tantas sustancias especiales que se pasan de una a otra, el electrón, liberando paulatinamente la energía contenida en el combustible. Estamos aquí frente a una verdadera reacción en cadena.

CENTRO CELULAR

Esta estructura es un cilindro que posee veintisiete filamentos periféricos repartidos en nueve grupos de tres cada uno. Cada uno de estos cilindros lleva otro a su lado más corto y colocado perpendicularmente al primero. Suele darse el nombre de centriolo a cada uno de ellos.

Existen otras formaciones en las células de estructura semejante al centro celular, son las cilias y los flagelos.

La función de los centriolos es controlar todas las actividades mecánicas de la célula.

EL NUCLEO

Hemos llegado a la última jornada de nuestro viaje: en la zona más céntrica de la ciudad celular hállase el presidente de la ciudad: el *núcleo*.

En realidad este último se limita a dictar a sus dependientes, o sea a toda la célula, leyes que le han sido impuestas por el mecanismo de la herencia, meca-

nismo éste que a su vez, como veremos, puede realizarse sólo con el apoyo del "pueblo" celular (individualizado, en este caso, por los ribosomas, en donde se produce la síntesis proteica).

La célula privada de su organizador central está destinada a perecer; una célula carente de núcleo muere alrededor de dos semanas; al ser injertado durante este período un núcleo, en pocos minutos o hasta en pocos segundos, la célula vuelve a adquirir todas sus capacidades vitales. Por otra parte el núcleo tampoco puede sobrevivir en ausencia del citoplasma, del que seguramente depende en cuanto al abastecimiento de por lo menos una parte de la energía. En efecto, en el núcleo prácticamente no existen sustancias capaces de promover reacciones de oxidación; esto significa que en éste no puede verificarse una liberación de energía con arreglo a un procedimiento aeróbico, es decir, que explota la presencia de oxígeno como aceptor de electrones, si no sólo con arreglo a procedimientos anaeróbicos, o sea sin presencia de oxígeno.

Una degradación anaeróbica de glucosa, capaz de liberar cierta cantidad de energía, parece ser muy probable que se realice en el núcleo, en el cual se han hallado las enzimas necesarias para favorecer este acontecimiento metabólico. Pero la energía suministrada por la degradación de la glucosa (glucosis anaeróbica) es insuficiente para las necesidades del núcleo.

El núcleo tiene su membrana que lo aísla, por lo menos parcialmente, del territorio celular que lo rodea, de acuerdo con lo que hemos dicho anteriormente parece ser que la membrana nuclear no es sino una formación del sistema retícu-

lo endoplásmico condensada en la periferia del núcleo.

Esta membrana presenta también numerosos poros; es interesante observar que en correspondencia de los poros el contenido nuclear está en libre contacto con el citoplasma. Este hecho podría tener importancia a los efectos de los intercambios nutritivos e "informativos" entre el núcleo y el citoplasma y viceversa.

El espacio nuclear está repleto de una sustancia fundamental: llamada *cariolina*, en la que se hallan diseminados los cromosomas en número fijo para cada especie.

Los cromosomas en la *interfase*, esto es durante el período de reposo entre dos divisiones celulares, pierden su individualidad estructural. Para constituir una masa de copos y filamentos irregularmente agrupados, entre los cuales halláanse diseminados grumos más gruesos que se llaman *cromocentros*, la sustancia que constituye esta masa es la *cromatina*.

Conviene observar que durante la *interfase* los cromosomas pierden sólo aparentemente su unidad estructural; en realidad mantienen su individualidad, están constituidos por largos filamentos arrollados en espiral. Los cromocentros no son sino sectores de cromosomas en que el ordenamiento helicoidal de los filamentos es más apretado.

Los cromosomas albergan el "cerebro" de la ciudad celular: el *ácido desoviribonucleico* o DNA. El núcleo, de todas las células, contiene este ácido presentado molecularmente en forma de espiral. Siendo la transmisión dada por la herencia. Es justamente esta formación ordenada, de moléculas especiales dispuestas como

las palabras grabadas en una cinta, la que imprime a la célula la clave de la vida.

El DNA gobierna por medio de un sistema de "mensajeros"; crean y guían la estructura de toda la célula, conocido con el nombre de *ácido ribonucleico* o RNA.

El RNA está presente en el núcleo en una formación esferoidal densa llamada *nucléolo*.

Donde se desarrollan importantes procesos como ser: la formación o síntesis de proteínas que se fabrican bajo la superficie de este ácido.

Estas "estafetas" son por su estructura y sus funciones semejantes al DNA, con la diferencia que éstos salen del núcleo.

Antes de partir el RNA hacia el citoplasma se entrelaza con el DNA, uniéndose estrechamente sus respectivas espirales; con rapidez electrónica el DNA imprime una sección de su propia clave en el RNA.

Inmediatamente el RNA parte hacia el punto de la célula en que la clave se transmitirá a las enzimas. Estas enzimas luego trabajarán en equipos para construir la ciudad celular.

Las transferencias de productos nucleares, en particular el RNA al citoplasma, constituye el fundamento de la dependencia de las actividades celulares al "gobierno" nuclear.

Llegando a faltar el núcleo estas actividades podrían seguir, de acuerdo a lo que hemos dicho anteriormente, hasta la consumición de los productos nucleares acumulados en el citoplasma. Una vez que se agota el caudal de dichos productos, la célula queda desamparada y muere.

DIVISION CELULAR

A cada momento, en la vida de un organismo, muere una célula, rendida por aquel complejo de fenómenos que llamamos "envejecimiento". Es necesaria, pues, una continua substitución de los elementos que desaparecen; lo cual se verifica por división de las células ya existentes.

Hace falta, además, que las nuevas células crezcan hasta llegar a la "dimensión crítica" que las capacita para una nueva división.

Son dos, pues, los fenómenos sobresalientes en la vida de una célula: división y crecimiento. La división crea las condiciones para el crecimiento, el crecimiento se concluye con la división.

Cada 10-20 horas la célula se divide. La división celular, llamada *mitosis*, es seguida inmediatamente por el que podríamos llamar "momento de las grandes decisiones". La célula debe ahora elegir su destino: no dividirse más y dedicarse entonces a la tarea de célula especializada (p. ej., la célula nerviosa) o seguir dividiéndose y poner entonces en ejecución los procedimientos indispensables para que se verifique la mitosis. Condición indispensable para que se realice la división celular es la preparación de un nuevo caudal de DNA. Este paso no admite arrepentimientos; si la célula "decide" darlo ya no puede volverse atrás. Una vez empezada, las síntesis del DNA lleva inevitablemente a la división celular.

Esta consta de cuatro fases, que son: *Profase*, *Metafase*, *Anafase*, *Telofase*.

Profase: Cada cromosoma se modifica para constituir un espiral helicoidal cada vez más y más corto, de interfase. Los cromosomas se acortan así centenares de miles de veces. En efecto, en el núcleo in-

terfásico, los cromosomas ordenados en sentido longitudinal pueden llegar a constituir un filamento de un metro; mientras que al final de la profase, alineados de la misma forma, alcanzan una longitud de pocas decenas de micrones.

El significado de una "condensación" tan importante es seguramente el de transformar una estructura tan delicada (como lo es la de los cromosomas durante la interfase), en algo macizo y fuerte, que pueda aguantar con facilidad los desplazamientos impuestos por la mitosis, sin que se produzcan desperfectos mecánicos, como por ejemplo, que se enreden los filamentos.

Mientras se modifican así los cromosomas, el nucleolo desaparece, como también desaparece la membrana nuclear; la desaparición de esta última puede interpretarse como el allanamiento de la migración (que se realizará en un segundo tiempo) de los cromosomas hacia los "polos" celulares. Contemporáneamente, los centriolos se desplazan hacia las opuestas extremidades de la célula estableciendo así las dos zonas "polares" que constituirán los puntos guía para la dinámica de la mitosis.

A medida que se alejan uno de otro, se forma entre ambos, un Huso de fibrillas: el "Huso acromático".

Las fibrillas que constituyen el "huso" quedan en parte tendidas entre los dos polos; en parte se insertan en los centrómeros desempeñando el papel de "enlaces" entre los polos y los cromosomas.

Metafase: Los cromosomas, a causa de la "tracción" ejercida por las fibrillas que los enlazan a los polos, se mueven hacia el ecuador celular, donde se ordenan con cierta simetría.

Anafase: Cada pareja de cromosomas que, desde el punto de vista mecánico, se ha portado hasta este momento como una unidad única, se divide en dos formaciones bien distintas. Cada cromosoma "hijo" se somete ahora a la "tracción" de las fibrillas que lo enlazan con un determinado polo y hacia éste el cromosoma comienza a migrar.

El movimiento de traslación de los cromosomas es de un micrón; esta velocidad que para nuestra concepción dimensional sería en verdad "muy modesta", cerca de medio metro por año, resulta francamente sensacional en el mundo celular, cuyo diámetro es de pocos micrones.

Telofase: Cuando los cromosomas llegan a la proximidad de la zona polar su estrecho enrollamiento empieza a aflojarse, hasta que vuelven a adquirir el aspecto de filamentos largos y delgados característico de la interfase. Contemporáneamente cada cromosoma junta a su al-

rededor los fragmentos de la membrana nuclear que habían quedado desparramados por el ambiente circunstante durante todo el proceso de mitosis; y finalmente se reconstruyen dos núcleos interfásicos y la célula se divide. Todo este fenómeno ha durado una hora aproximadamente. Pero ya durante las últimas fases de la división y luego durante el período llamado de descanso (interfase), la célula trabaja en la preparación de la mitosis futura: los centriolos se doblan, comienza la síntesis del DNA, se procede a la realización de una "reserva de energía" para satisfacer las exigencias de la próxima división, empieza la síntesis de las proteínas para el nuevo aparato mitótico.

Y mientras tanto, la nueva *ciudad-célula* crece, llegando el momento en que su territorio será demasiado grande para ser administrado por un solo núcleo, volverá a dividirse. Ya está todo listo para cuando llegue la hora. ♦